

**Die Beeinflussung des Eidotterpigments
durch carotinoidhaltige Pflanzengrünmehle im
Legehennenfutter**

Hans-Jochen Berning

1965

Aus dem Institut für Physiologie und Ernährung der Tiere
der Tierärztlichen Fakultät der Universität München
Vorstand: Professor Dr. Dr. Johannes BRÜGGEMANN

DIE BEEINFLUSSUNG DES EIDOTTERPIGMENTS DURCH
CAROTINOIDHALTIGE PFLANZENGRÜNMEHLE
IM LEGEHENNENFUTTER

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der veterinär-medizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

von

Hans-Jochen Berning
aus Schwelm/Westfalen

München 1965

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: Professor Dr. L. KOTTER
Referent: Professor Dr. Dr. J. BRÜGGEMANN
Tag der Promotion: 26. Februar 1965



MEINEN ELTERN
GEWIDMET

INHALT

	Seite
EINLEITUNG	1
LITERATUR	3
1. Gelbe Pflanzenpigmente als Ursprung der Dotterfarbe	3
2. Grundsätzliches über die Bewertung der Farbstoffkonzentration	5
a) Im Dotter	5
b) Im Grünmehl	6
3. Die Suche nach geeigneten Farbstoffträgern	6
a) Xanthophylle aus Grünmehl und Maisprodukten	7
b) Synthetische Carotinoide	8
EIGENE VERSUCHE ZUR AUSNUTZUNG DER PIGMENTE	10
1. Methodik	10
a) Versuchsanordnung	10
b) Bestimmung des Xanthophyllgehalts in Grünmehlen	11
c) Bestimmung des Xanthophyllgehalts im Eidotter	14
2. Ergebnisse	15
DISKUSSION	34
ZUSAMMENFASSUNG	40
LITERATURVERZEICHNIS	41

Mit der zunehmenden Intensivierung der Legehennenhaltung tauchen neue Probleme auf, von denen man vor einigen Jahrzehnten nur wenig wußte. Als die Legehenne noch mehr oder weniger extensiv mit großem oder gar unbeschränktem Weideauslauf im bäuerlichen Betrieb gehalten wurde, hatte der Eidotter die gewünschte und ansprechend gelbe Farbe. Der scharfe Konkurrenzkampf jedoch zwingt den Produzenten heute zur Intensivierung der Eierproduktion und damit zur Aufstallung der Henne. Erstmalig taucht der Unterschied zwischen den Begriffen "Farmei" und "Landei" auf, womit der Verbraucher bestimmte Vorstellungen verbindet. Sehr oft lehnt er instinktiv das Ei aus der Hühnerfarm ab, weil die Haltungsbedingungen der Legehennen auf der Farm ihm aus seiner Sicht als unnatürlich erscheinen, was für ihn am besten in der weißlich blassen Dotterfärbung des Farmeies zum Ausdruck kommt. Tatsächlich legen Hennen in Freilandhaltung mit nahezu unbegrenztem Zutritt zu grüner Pflanzenmasse besser pigmentierte Eier, die der Verbraucher bevorzugt und dementsprechend mit der Bezeichnung "Landei" zu honorieren bereit ist. Der Wunsch der Hausfrau ist auf einen ansehnlich gelb gefärbten Eidotter gerichtet, und dieses Ei findet seinen Platz auf dem Frühstückstisch. Ein gleiches verlangt sie zum Backen und Kochen. Ebenso ist die Lebensmittelindustrie (Bäckereien, Nudelfabriken usw.) nur an einem gleichmäßigen Angebot von Eiern bestimmter Farbtiefe interessiert, um Back- und Teigwaren, Mayonnaisen etc. in stets gleichbleibender Farbqualität halten und anbieten zu können. Hierbei handelt es sich tatsächlich weniger um ein ernährungsphysiologisch bedeutsames Problem, als vielmehr darum, das Auge des Verbrauchers zufriedenzustellen.

Schon seit langer Zeit beschäftigt man sich in Wissenschaft und Praxis mit der Frage, ob und durch welche Zusätze zum Futter die Dotterfarbe beeinflusst werden kann. Besonders in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, wo die Intensivierung der Eierproduktion schon früher als bei uns in Europa einsetzte, hat man diesbezüglich Versuche unternommen. Mit dem Zusatz von künstlich getrockneten Luzernemehlen, vor allem aber durch Verwendung von 30 bis 40 % Gelbmais in einer Legehennenration ist es dort relativ leicht möglich, ansprechende Dotterfarben zu erzielen. Da hierzulande der Weizen den Mais aus dem Lege-

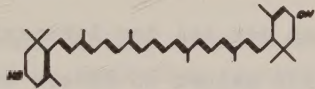
hennenfutter weitgehend verdrängt und Luzernegrünmehl nicht in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung steht, wurde die Frage des qualitativen und quantitativen Übergangs von pflanzlichen Carotinoiden verschiedener Herkunft in den Eidotter näher untersucht.

LITERATUR

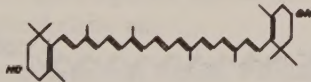
1. Gelbe Pflanzenpigmente als Ursprung der Dotterfarbe

Die gelbe Eidotterfarbe wird durch eine Reihe von Farbstoffen bestimmt, die im Rohfettanteil des Eidotters gelöst sind und sich hieraus mit Fettlösungsmitteln wie Diäthyläther und Aceton quantitativ extrahieren lassen. Sie gehören chemisch sämtlich zu einer Gruppe von organischen Farbstoffen, die man als Carotinoide bezeichnet. Sie müssen mit der Nahrung zugeführt werden, weil dem Vogel wie dem Säugetier die Fähigkeit zu ihrer Synthese fehlt. Dementsprechend hängt die Art der im Eidotter deponierten Farbstoffe und auch der Umfang ihrer Einlagerung in den Eidotter von Art und Menge des Carotinoidgehaltes und von dessen Resorption in der verabreichten Futtermischung ab. Als wichtigste sauerstoffhaltige Eidotterpigmente wären in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit zu nennen:

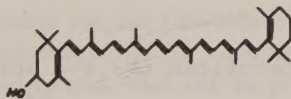
1. Xanthophyll (Dihydroxy- α . Carotin)



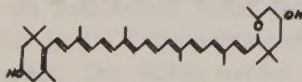
2. Zeaxanthin



3. Kryptoxanthin

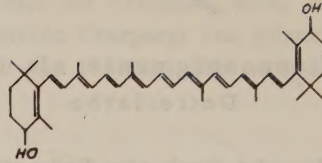


4. Capsanthin

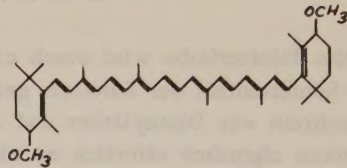


Neben diesen natürlich vorkommenden Carotinoiden wurden neuerlich auch synthetische Carotinoide auf ihre dotterfärbende Wirkung untersucht und zum Teil schon in Legehennenmischfutter verwendet. Von diesen wären besonders zu nennen:

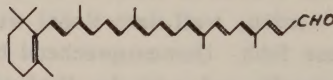
1. Isozeaxanthin



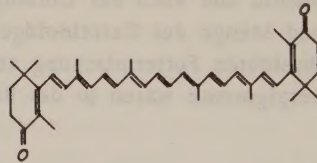
2. Isozeaxanthindimethyläther



3. β -Apo-8'-Carotinal

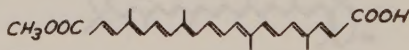


4. Canthaxanthin



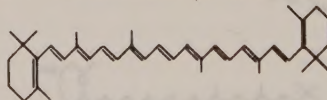
Auch der bei der Lebensmittelfärbung verwendete Farbstoff Bixin gehört zu dieser Gruppe der Carotinoide.

Bixin

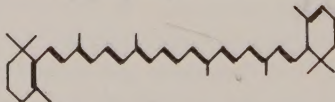


Bei den echten Carotinen (β -, α - und γ -Carotin)

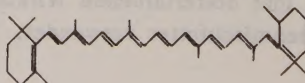
1. β -Carotin



2. α -Carotin



3. γ -Carotin



die gleichzeitig Provitamine A sind, handelt es sich dagegen um sauerstofffreie Pflanzenpigmente. Sie sind wahrscheinlich infolge ihrer stark hydrophoben Eigenschaften nur wenig befähigt, in den Eidotter einzudringen. Sie sind "dotterscheu", wie es von STEINEGGER und ZANETTI (16) und TIEWS und ZUCKER (18) gezeigt wurde. Erst durch die Einführung einer Hydroxyl- oder Ketogruppe in den Jononkern des Moleküls werden die Carotinoide hydrophil und damit zu "dotterfreundlichen" Pigmenten. Für die Dotterpigmentierung kommen somit nur sauerstoffhaltige Carotinoide in Betracht, für die man oft nach ihrem Hauptvertreter auch die Sammelbezeichnung Xanthophylle wählt; in der Natur findet man sie eingelagert in Blättern (Xanthophyll), Blütenblättern (Violaxanthin), Früchten (Capsanthin, Bixin), Samen (Zeaxanthin). BICKHOFF (4) fand in der Luzerne über 40 Carotinoide von zum Teil noch unbekannter Struktur.

2. Grundsätzliches über die Bewertung der Farbstoffkonzentration

a) Im Dotter:

Um vergleichend etwas über die dotterfärbende Wirkung verschiedener Substanzen aussagen zu können, muß man sich die Möglichkeit verschaffen, einen Dotter nach seinem Pigmentgehalt absolut zu klassifizieren. Dazu führt FRITZ (5) drei Möglichkeiten an:

1. Den Vergleich der Dotterfarbe mit einem Farbfächer.

KUPSCH (7) stützt sich dabei auf die Ostwaldschen Farbnormen (12) und unterteilt den Gelb-Orange-Bereich in 10 verschiedene Farbstufen (1-10). Mit den so erhaltenen Farbnormen wird der zu prüfende Eidotter visuell bei Tageslicht verglichen.

ASHTON und FLETCHER (2) beschreiben einen Farbfächer aus Emaille-Reifen. Sie bevorzugen die in der Farbzusammensetzung genormte Emaille wegen ihrer Farbbeständigkeit. Die Reifen werden zum Farbvergleich um die Dotterkugel gelegt.

2. Eine andere Methode zur Klassifizierung des Pigmentgehaltes besteht darin, den Dotterfarbstoff beispielsweise mit Aceton quantitativ zu extrahieren und den erhaltenen Extrakt mit einer standardisierten Kaliumdichromatverdünnungsreihe zu vergleichen.

3. gibt es die Möglichkeit, den wie unter 2. gewonnenen Aceronextrakt colorimetrisch mit dem Absorptionsmaximum des β -Carotins bei 450 m μ zu vergleichen. Man erhält so den "Gelbwert" des Dotters, d. h. die Konzentration sämtlicher Pigmente auf β -Carotin-Äquivalente umgerechnet.

4. Mit zunehmender Farbtiefe eines Eidotters wächst seine Fähigkeit, auffallendes Licht zu absorbieren. Umgekehrt nimmt der Anteil des von seiner Oberfläche reflektierten Lichtes ab. Hierauf beruht das Verfahren der Remissionsmessung (RAUCH (14))

Zu 1. ist zu sagen, daß auf diese Art alle Dotter, auch solche mit starkem Anteil an Rotpigmenten beurteilt werden können. Bei 2. und 3. ist dies nicht der Fall, da die zum Vergleich herangezogene Kaliumdichromatstandardlösung optisch frei von Rottönen ist; aber auch die Extinktionsermittlung des Farbstoffextraktes bei 450 m μ (Methode 3) berücksichtigt ausschließlich gelbe Farbanteile. Auch das Verfahren nach 4. ist nur bedingt in der Lage, zwischen Gelb- und Rottönen zu unterscheiden.

Für den Rahmen dieser Arbeit erschien das unter 3. genannte Verfahren am besten geeignet, weil ausschließlich der Übergang "gelber" Pflanzenpigmente in den Eidotter studiert wurde.

b) Im Grünmehl:

Um etwas über die dotterfärbende Wirkung der verschiedenen Grünmehle aussagen zu können, muß ihr Gehalt an sauerstoffhaltigen Carotinoiden bekannt sein. Die Bestimmung erfolgt in Analogie zur vorerwähnten Methode 3. Die Xanthophyllbestimmung in Trockengrünmehlen ist erst in neuerer Zeit zum Routineverfahren geworden. Auch die Xanthophyllbestimmung im fertigen Mischfutter ist heute möglich. (Bezüglich der methodischen Einzelheiten wird auf Seite 12 ff. verwiesen.)

3. Die Suche nach geeigneten Farbstoffträgern

Auf der Suche nach Futtermitteln, die dem Eidotter eine ansprechend gelbe Farbe verleihen könnten, wurden die verschiedensten Pflanzen und Stoffe tierischer Herkunft untersucht. KUPSCH (7) verfütterte z. B. neben handelsüblichem Grünfutter und Grünmehlen Hirtentäschelkraut, Wiesenpfennigkraut,

Senfsamen, Keimhafer, Möhren, Melasse, Paprika, Mate, Tagetes, Kelchblätter der Judenkirsche, Chlorophyll, Blut, Sudan und Azofarbstoffe. Weiter zitiert er einen Versuch von v. Langen, der geröstete Zuckerrübenschnitzel wegen des in ihnen enthaltenen Karamels verfütterte.

Die Dotter wurden zwar von verschiedenen der aufgeführten Stoffe angefärbt, vielfach aber nicht mit dem gewünschten Effekt; Wiesenpfennigkraut z. B. verlieh den Dottern eine olivgrüne Farbe. Auch wurde KUPSCH zu Fehlschlüssen verleitet, weil das Grundfutter nicht farbstofffrei war.

LANG (8) überprüfte deshalb die angeblich dotterfärbende Wirkung des Karamels, indem er bei farbstoffarmer Diät über das Trinkwasser eine Karamellösung verabreichte. Dabei zeigte sich, daß Karamel keinen Einfluß auf die Dotterfarbe ausübt.

VECCHI (19) versuchte dagegen mit Erfolg, die Dotterfarbe durch Verfütterung von Garneelen und Krabben zu beeinflussen.

Das Hauptinteresse gilt aber den traditionellen Futtermitteln wie Mais und Luzerne. Dazu kommen in neuester Zeit die reinen Carotinoide.

a) Xanthophylle aus Grünmehlen und Maisprodukten:

TIEWS und ZUCKER (18) fanden für zwei Luzernegrünmehle unterschiedlicher Qualität und einen Luzernegrünmehlextrakt eine Ausnutzungsrate des Xanthophyllgehalts von 12 %. Darunter verstehen sie, daß 12 % der in 160 g Futter enthaltenen Xanthophylle - diese Futtermenge wird erfahrungsgemäß von einer Henne mit 80 - 90 % Legeleistung zur Produktion eines Eies benötigt - in den Eidotter eingelagert wird.

ANJANEYLU und Mitarbeiter (1) erzielten eine Ausnutzungsrate von 11 % bei Luzerne.

FRITZ (5) berichtet über Ausnutzungsraten der Xanthophylle verschiedener Herkunft von 11 - 14 %.

RATCLIFF und Mitarbeiter (13) fanden, daß Weißklee fast doppelt so gut wie Luzerne ausgenutzt wurde. (Hier handelte es sich aber um die Hautpigmentierung von Schlachtgeflügel.)

MOREHOUSE (11) verwendete eine andere Bezugsgröße für die Ergebnisse der Pigmentaustnutzungsversuche: Er verfütterte 11 mg Xanthophyll/kg Alleinfutter und beschreibt, wieviel mcg Xanthophyll/g Dotter er erhielt.

So kam er bei einem Algenmehl (*Spongiococcum excentricum*) auf 20 mcg Xanthophyll/g Dotter, bei Luzerne auf 13,0, Maiskleberfutter auf 14,8 und bei Gelbmais auf 12,6 mcg Xanthophyll/g Dotter. Weiter fand er, daß bis zu einem Gehalt von 44 mg Xanthophyll/kg Futter der Dotter-xanthophyllgehalt direkt proportional dem des Futters ist. Bei einem Xanthophyllgehalt im Futter von >44 ppm verhält sich der Pigmentgehalt des Dotters proportional zum Logarithmus der Dosis.

b) Synthetische Carotinoide:

Viele Autoren beschäftigten sich mit der Verwendbarkeit synthetischer oder durch Extraktion von Naturstoffen angereicherter Carotinoide zur Dotterpigmentierung. RAUCH (14) verfütterte β -Carotin, Xanthophyll, Zeaxanthin, β -Apo-8'-Carotinal und zum Vergleich ein Luzernegrünmehl. Er fand, daß die Dotter am besten von dem Pigment der Luzerne und von Zeaxanthin angefärbt wurden. Gute Erfolge zeigte auch das β -Apo-8'-Carotinal. Xanthophyll und β -Carotin färbten nach seiner Beobachtung die Dotter ebenfalls deutlich, aber doch merklich schwächer. Dieses Ergebnis für Carotin steht im Gegensatz zu der Feststellung von TIEWS und ZUCKER (18), die bei einem angenommenen Futterverzehr von 160 g/Ei eine Ausnutzungsrate von nur 0,5% für Gelatine-stabilisiertes β -Carotin erhielten. (Zum Vergleich: Luzerne 12%!)

MARUSICH und Mitarbeiter (10) prüften ebenfalls eine Reihe von sauerstoffhaltigen Carotinoiden auf ihre Eignung zur Dotterfärbung. Sie drücken die Ausnutzungsrate in Prozent der täglich zugefütterten Dosis des betreffenden Carotinoids aus (im Gegensatz zu TIEWS und ZUCKER (18), die die prozentuale Ausnutzung des in 160 g Futter enthaltenen Pigments berechnen). Sie kamen dabei zu folgenden Ergebnissen: Canthaxanthin 26,0%, Zeaxanthin 17,0%, Luzerneblattmehl 13,9%, Isozeaxanthindimethyläther 12,8% (bei einer anderen Hühnerrasse aber nur 4,3%), Isozeaxanthin 9,6%, β -Apo-8'-Carotinal 8,3%, Capsanthin 6,2%, Isozeaxanthindiacetat 3,7% und Violaxanthin 2,2%. Von den untersuchten Präparaten verliehen aber nur Zeaxanthin, Isozeaxanthindimethyläther und β -Apo-8'-Carotinal dem Dotter eine rein gelbe Farbe. Die anderen Carotinoide verursachten einen unerwünschten rotgelben Farbton oder hatten praktisch keinen Effekt (Violaxanthin). Außerdem sieht man im Falle des Isozeaxanthindimethyläthers deutlich, daß verschiedene Hühnerrassen, hier handelte es sich um Linienhybriden von Leghorn und White Rocks,

ein und dasselbe Carotinoid verschieden stark auszunutzen vermögen.

Auch STEINEGGER und ZANETTI (16, 17) erhielten ähnliche Ergebnisse bei Verfütterung von Carotinoiden. Sie geben indessen keine absoluten Werte für die Ausnutzungsrate an.

BAUERNFEIND und Mitarbeiter (3) empfehlen zusätzlich noch das β -Apo-2'-Carotinal in einer Konzentration von 2 - 3 g/t Alleinfutter zur Erlangung einer angenehmen gelben Dotterfarbe. (Es ist ebenso wie das β -Apo-8'-Carotinal Provitamin A).

WILLIAMS und Mitarbeiter (20) berichten, daß sie in Versuchen, unter anderem mit Bixin, dem Farbstoff aus der Frucht des Orleanbaumes, Zeaxanthin und Xanthophyll, folgende Ergebnisse erzielten: Hennen erhielten Futter mit einem Pigmentgehalt von jeweils 19 mg/kg. Im Eidotter fanden sich dann bei Zeaxanthin 8,1, bei Xanthophyll 8,21 und bei Bixin 9,91 mcg Pigment/g. Weiter beobachteten sie, daß sich die übereinstimmend gute Ausnutzung für Zeaxanthin und Xanthophyll zugunsten des Zeaxanthins veränderte, wenn nicht ausschließlich die reinen Carotinoide, sondern zusätzlich noch Mais oder Luzerne beigemischt wurde.

Auch konnten sie wie TIEWS und ZUCKER (18) feststellen, daß die Sättigung der Dotter mit dem angebotenen Carotinoid zwischen dem 8. und 10. Tag nach Beginn der Pigmentzufütterung eintrat. MACKEY und Mitarbeiter (9) fanden dafür einen Zeitpunkt zwischen dem 10. und 12. Tag nach Versuchsbeginn. RAUCH (15) will diesen Termin sogar in die Zeit zwischen 2 und 3 Wochen nach Beginn der Pigmentzufütterung verlegt wissen.

Neben der unterschiedlichen Ausnutzung der Carotinoide durch verschiedene Hühnerrassen wird auch auf mehr oder weniger große individuelle Schwankungen bei den einzelnen Versuchshennen hingewiesen (LANG (8), RAUCH (14)).

FRITZ (5) sowie KINGAN und Mitarbeiter (6) stellten in der heißen Jahreszeit eine geringere Ausnutzung der angebotenen Carotinoide fest. Sie führen dies auf eine verminderte Futteraufnahme zurück, da bei höherer Temperatur der Futterenergiebedarf der Hennen sinkt.

EIGENE VERSUCHE ZUR AUSNUTZUNG DER XANTHOPHYLLE

1. Methodik

a) Versuchsanordnung:

90 Heisdorf-Nelson-Lohmann (=HNL)-Hennen standen für die Versuche I/63 bis II/64 zur Verfügung.

Fütterung und Vorgeschichte: Schlupf Juni 1962

Juli 1962: Experimentelle Infektion mit *Eimeria tenella* unter Chlortetracyclin-Schutz (220 ppm¹⁾ im Futter).

Aug. - Okt. 1962: Pigmentarmes (2 ppm Xanthophyll) Junghennen-futter, Vit.-A-frei, aber mit 2 mg Vit.-A-Säure/kg Futter.

Nov. 1962 - 15. Jan. 1963: Futter wie im vorigen Abschnitt, aber mit Zusatz von 125 ppm Santoquin.

15. Jan. 1963: Eintritt der Legereife.

Ab 15. Januar 1963 bekamen die Hennen ein Vitamin-A- und pigment-armes (1 ppm Xanthophyll) Legehennenalleinfutter folgender Zusammen-
setzung:

Weizenschrot	200 kg
Gerstenschrot	200 kg
Haferschrot	200 kg
Weizenfuttermehl	140 kg
Sojaschrot (50% Rohprotein)	120 kg
entzuckertes Molkenpulver	10 kg
Futterhefe	30 kg
getr. Fischsolubles	80 kg
kohlensaurer Kalk	55 kg
phosphorsaurer Kalk	12 kg
jodiertes Viehsalz	3 kg
Wirkstoff-Vormischung	10 kg
	<u>1000 kg</u>

1) ppm = pars pro million = mg/kg = mcg/g

Wirkstoff-Vormischung:

Fortafeed-Vit. -B-Konzentrat 2-49/C"	1 kg
Vit. B ₁₂	20 mg
Vit. E	20 g
Vit. D ₃	1.000.000 I.E.
Cholin	100 g
Methionin	500 g
Mangansulfat	200 g
Zinksulfat	100 g
Aureomycin	50 g
Weizenfuttermehl	ad 10 kg

Die Versuche III/64 und IV/64 wurden mit HNL-Junghennen durchgeführt.

Fütterung und Vorgeschichte der Junghennen:

Schlupf:	Ende September 1963
Sept. 1963 - 25. Jan. 1964:	Aufzucht in der Züchtereier mit üblichem farbstoffhaltigem Futter.
Ab 25. Jan. 1964:	Oben beschriebenes farbstoffarmes Legehennenalleinfutter.
15. Febr. 1964:	Eintritt der Legereife.

Die Versuchstiere wurden teils in Batterieeinzelhaltung, teils in Gruppen von 7 - 14 Tieren in Tiefställen von 9 m² Grundfläche gehalten. Der Raum, in dem die Batterien standen, war im Winter heizbar. Die Tiefställe konnten nicht geheizt werden, doch sank die Raumtemperatur nicht unter +10°C ab. Die Tiefställe hatten Stroheinstreu auf Zementboden.

b) Bestimmung des Xanthophyllgehalts in Grünmehlen:

Unter Xanthophyll ist in diesem Zusammenhang die Summe aller sauerstoffhaltigen Carotinoide zu verstehen. Es handelt sich nicht um eine einheitliche Verbindung, wenngleich das Dihydroxy- α -Carotin, das eigentliche Xanthophyll, in der chemisch ermittelten Xanthophyllfraktion aus Futterpflanzen und damit auch aus Eidottern überwiegen dürfte.

- Reagenzien:
- (1) 10%ige alkoholische KOH (1 Teil 50%ige wäßrige KOH + 4 Teile Äthylalkohol 96%ig).
 - (2) Diäthyläther DAB 6, peroxydfrei, wasserfrei, wird zur Entfernung der Peroxyde über einer alkalischen Ferrosulfatlösung (1/2 Liter 10% wäßr. Ferrosulfat + 1/2 Liter 5% wäßr. KOH für 10 kg Äther) unter wiederholtem Umschütteln gelagert.
Vor Gebrauch wird der Äther mit Wasser ausgeschüttelt, über KOH (in rotulis) destilliert und über Natriumsulfat siccum aufbewahrt.
 - (3) Benzol, p.A., kristallisierbar (Merck).
 - (4) Petroläther (Siedeintervall 40 - 60°C).
 - (3,4) Hieraus Benzol-Petroläthergemisch = BPG = 3 Teile Benzol (3) und 2 Teile Petroläther (4).
 - (5) 10%ige Natriumascorbatlösung. 1 g Natrium-L(+)-ascorbat (Merck) ad 10 ml aqua dest.
 - (6) Aluminiumoxyd (Al_2O_3), Merck, standardisiert nach Brockmann wird 8 Stunden bei 750°C erhitzt, im Exsiccator abgekühlt und in braunen Schliffflaschen aufbewahrt.

Vor der weiteren Verwendung zur Chromatographie werden 100 g Al_2O_3 (6) mit 2 ml aqua dest. versetzt, kräftig geschüttelt und über Nacht in verschlossenen, braunen Schliffflaschen aufbewahrt. So vorbehandeltes Al_2O_3 ist partiell "desaktiviert" und hält alle in BPG (3,4) gelösten Pflanzenpigmente außer Carotin zurück. Luftdicht aufbewahrt, ist es mindestens 8 Tage haltbar.

- (7) Seesand, mit HCl gereinigt.

Optisches Gerät: ZEISS-Spektralphotometer PMQ II

Analytik

1,5 - 2 g Grünmehl wurden unter Zusatz von 40 ml frisch bereiteter KOH-Lösung (1) und 1 ml Natriumascorbatlösung (5) 25 Minuten am Rückflußkühler hydrolysiert. Die Verseifung erfolgte im Schliffkolben unter gelegentlichem Umschwenken.

Nach Abkühlung unter Leitungswasser wurde die Seifenlösung in einen 500-

ml-Scheidetrichter dekantiert. Der Verseifungsrückstand wurde mit Äther (2) aus dem Kolben in einen Mörser überführt und so oft mit kleinen Portionen Äther unter intensivem Verreiben mit Seesand extrahiert, bis die überstehende Diäthylätherphase farblos erschien.

Alle Ätherextrakte wurden mit der abdekantierten Seifenlösung im Scheidetrichter vereinigt. Hieraus wurden Alkohol und Alkali durch intensives Auswaschen mit aqua dest. entfernt (Phenolphthaleinprobe auf Alkalifreiheit!). Der Ätherextrakt wurde im Wasserbad auf ein Volumen von ca. 30 - 40 ml eingengt und quantitativ in einen Scheidetrichter übergeführt. Ein gleiches Volumen Petroläther (4) wurde hinzugefügt. Letzte Feuchtigkeitsspuren schieden sich dabei ab und wurden abgetrennt. Im Meßkolben wurde der Extrakt mit Petroläther auf 100 ml ergänzt (Stammlösung).

A) Ein aliquoter Teil hiervon wurde eingedampft, in BPG 3 : 2 aufgenommen und die Extinktion (E) bei 450 m μ bestimmt. Hiermit wurden alle gelben Pigmente der Probe (Xanthophylle und Carotine = Gesamtgelbwert) erfaßt.

$$\frac{E \cdot \text{Verdünnung}}{0,25 \cdot \text{Einwage}} = \text{mcg Gesamtgelbwert/g Substanz} \quad (a)$$

B) In einem anderen Teil der Stammlösung wurde der Carotingehalt der Probe bestimmt. Hierzu wurde ein aliquoter Teil der Stammlösung bis zur Trockne eingengt, in 5 ml BPG aufgenommen und an Aluminiumoxyd chromatographiert. Die Xanthophylle wurden in der Säule adsorbiert und die Carotinfraction im Durchlaufchromatogramm mit BPG als Elutionsmittel gewonnen. Die Extinktion der Carotinfraction wurde bei 450 m μ gemessen. Der durch Carotin bei (a) vorgetäuschte Xanthophyllgehalt/g Einwage berechnete sich aus

$$\frac{E \cdot \text{Verdünnung}}{0,25 \cdot 1) \cdot \text{Einwage}} = \text{mcg durch Carotin vorgetäushtes Xanthophyll/g} \quad (b)$$

1) $E \frac{1\%}{1 \text{ cm}, 450 \text{ m}\mu}$ für Xanthophyll = 2500
 1 mcg Xanthophyll/1 ml BPG zeigt
 $E = 0,25$ bei $d = 1 \text{ cm}$

Der Wert von 2500 ist conventionell festgelegt.

c) Bestimmung des Xanthophyllgehaltes im Eidotter:

Reagenzien: Aceton purissimum. Aufbewahrt über Natriumsulfat siccum.

Optisches Gerät: ZEISS-Spektralphotometer PMQ II

Analytik

Der vom Eiklar getrennte Dotter wurde in einen 250 ml Schliffkolben eingewogen, mit ca. 50 ml Aceton purissimum versetzt und kräftig geschüttelt. Das Aceton-Dotter-Gemisch wurde quantitativ in eine Nutsche (Porengröße G 17) übergeführt und der Aceton-Farbstoffextrakt abgesaugt. Die zurückbleibende Dottermasse wurde so oft mit kleineren Mengen Aceton extrahiert, bis die überstehende Acetonphase farblos erschien. Das Volumen (V) der vereinigten Acetonextrakte wurde bestimmt. Zur Entfernung von leicht auftretenden Trübungen wurden ca. 10 ml hiervon filtriert (Papierfilter, Schleicher/Schüll Nr. 595). Die Extinktion (E) des Filtrats wurde bei 450 m μ gemessen. Damit wurden alle gelben Pigmente der Probe erfaßt. Auf chromatographische Abtrennung der Carotine wurde verzichtet, weil in Vorversuchen gezeigt werden konnte, daß der Carotingehalt weniger als 2% des Gesamtpigments im Eidotter beträgt.

$$\frac{E \cdot V}{0,25 \cdot (\text{Dottergewicht})} = \text{mcg Gesamtgelbwert/Gesamtdotter} \quad (/g \text{ Dotter})$$

Verschiedene Bezugsgrößen wurden zur Auswertung der Versuchsdaten herangezogen.

1. Die Ausnutzungsrates (= AR) wird definiert als der Xanthophyllgehalt ¹⁾ des Gesamtdotters abzüglich Blindwert ²⁾ in Prozent des Xanthophyllgehaltes von 160 g Legehennenfutter (160 g Futter benötigt eine Legehennen mit 80 - 90 % Legeleistung zur Produktion eines Eies).

Ausnutzungsrates =

$$\frac{(\text{ppm Xanthophyll/Gesamtdotter} - \text{Blindwert})^2 \cdot 100}{\text{ppm Xanthophyll in 160 g Futter}}$$

Diese Ausnutzungsrate bei einem Futterverzehr von 160 g/Ei wurde nur in den Versuchen mit Tiefstallhaltung verwendet. Bei Einzelhennenhaltung wurde dagegen die Ausnutzungsrate mit dem tatsächlichen Futterverzehr/Ei errechnet.

2. Der Farbindex (= FI). Er drückt das Verhältnis aus:

$$\frac{\text{ppm Xanthophyll/g Frischdotter abzüglich Blindwert } ^2)}{\text{ppm Xanthophyll/g Futter}}$$

3. Die Temperaturmittelwerte und Mittelwerte der täglichen Sonnenscheindauer während der Versuche. Diese Daten stammen aus den amtlichen Unterlagen des Wetteramts München. Die Temperaturmittelwerte resultieren aus dem Durchschnitt der Temperaturminima bzw. -maxima der einzelnen Versuchstage.

$$4. \text{ Legeleistung in } \% = \frac{\text{Anzahl der Eier} \cdot 100}{\text{Anzahl der Hennen} \cdot \text{Versuchstage}}$$

2. Ergebnisse

Vor Beginn eines jeden Versuches wurde der durchschnittliche Xanthophyllgehalt der Eier ermittelt. Dieser Wert wurde später als Blindwert vom Xanthophyllgehalt der Versuchseier abgezogen, damit nur die wirkliche Xanthophyllzunahme für die Versuchsergebnisse berücksichtigt wurde.

1) Sammelbezeichnung (vgl. S. 5)

2) Blindwert: Xanthophyllgehalt des Eidotters in Vorfütterungsperiode mit pigmentarmem Futter

VERSUCH I/63 (30. 4. bis 20. 5.) (Tabelle 1)

Im Versuch I/63 wurden 63 Hennen in 8 Gruppen eingeteilt.
Als Farbstoffträger wurden folgende Grünmehle verwendet:

1. Grünrapsmehl I	(400 ppm Xanthophyll)	in der lufttr. Substanz
2. Amerikanisches Luzernemehl I	(240 " ")	
3. Grünhafermehl	(240 " ")	
4. Kleegrasmehl I	(160 " ")	

Die Grünmehle stammten sämtlich aus der Ernte 1962, waren in Trocknungsanlagen künstlich getrocknet und enthielten keine Antioxydanzsätze wie Ethoxyquin (= Santoquin), das seit 1963 zur Haltbarmachung von Grünmehlen auch in der Bundesrepublik verwendet werden darf. Die Grünmehle wurden dem Grundfutter in solchen Konzentrationen beigemischt, daß die fertigen Rationen 13,2 bzw. 6,6 ppm Xanthophyll enthielten. Nur die Klee gras-Rationen enthielten 12,0 bzw. 6,0 ppm Xanthophyll.

In diesem Versuch wurden am 3., 6., 10. Tag und danach täglich die Eidotter auf ihren Xanthophyllgehalt untersucht.

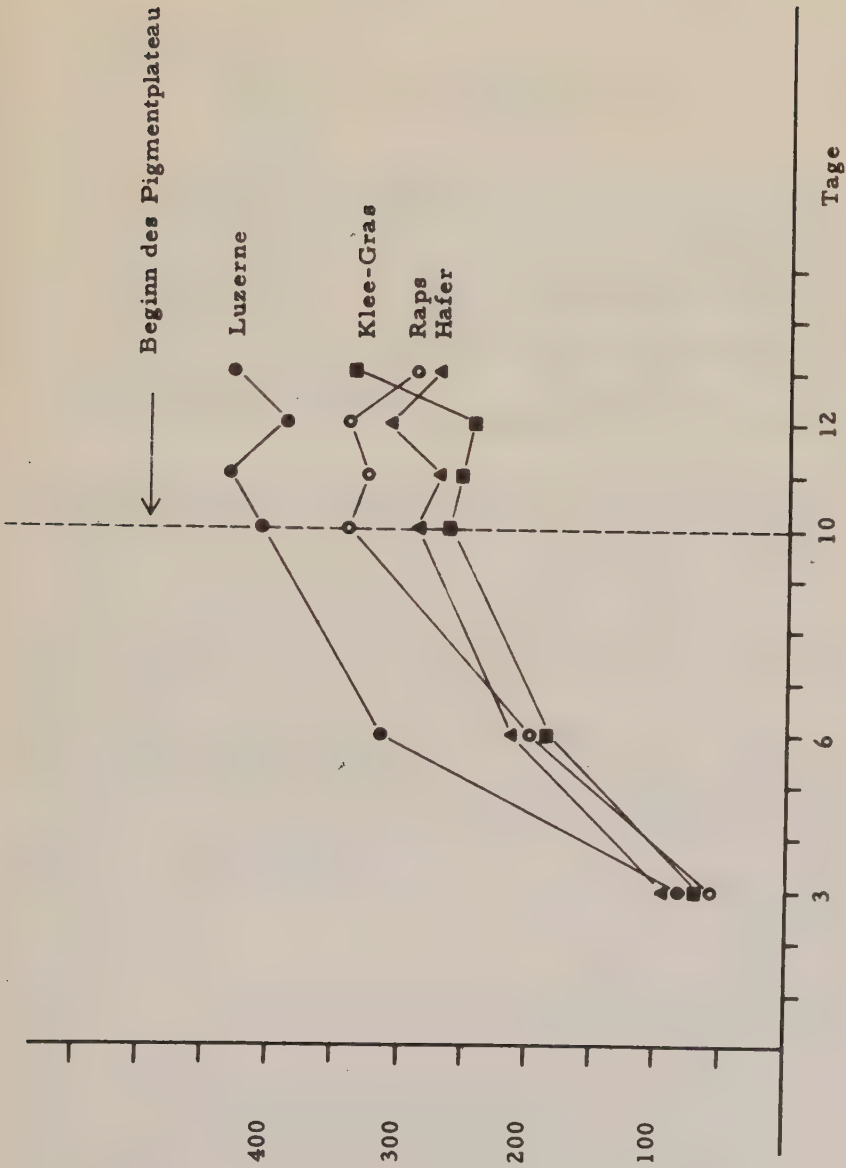
Die Ergebnisse des Versuches I/63 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Es zeigt sich, daß ein gleichbleibender Sättigungsgrad der Dotter bei der angebotenen Xanthophyllmenge am 10. Tag erreicht wird, und die Gelbwerte sich bis zum Versuchsende auf einem bestimmten Plateau halten (siehe Abb. 1). In den weiteren Versuchen wurden die Eier deshalb erst nach dem 11. Tag untersucht.
2. In dem hier untersuchten Bereich nimmt mit steigendem Xanthophyllgehalt des Futters auch der Xanthophyllgehalt im Eidotter zu. Zwischen beiden Größen besteht nahezu Proportionalität, also eine lineare Abhängigkeit. Die Verdoppelung des Xanthophyllgehaltes in der Futtermischung bedeutet i. a. auch eine Verdoppelung des Pigmentgehalts im Eidotter.
3. Statistisch signifikante Ausnutzungsunterschiede zwischen Rapsgrünmehl, Grünhafermehl und Klee grasmehl konnten im Versuch I/63 nicht festgestellt werden. Die Ausnutzungsrate lag bei einem angenommenen

Futtermittelverzehr von 160 g/Eidotter bei 12,5%, unabhängig davon, ob 1/1 oder 1/2 Dosierung im Futter verwendet wurde.

Abweichend hiervon verhielt sich ein Zusatz von US-Luzerne-Grünmehl. Die Ausnutzungsraten von 19,1 bzw. 8,6 % lagen in beiden Dosierungsstufen signifikant höher. (Vgl. aber Versuch IIa/63, 4.)

4. Eine Abhängigkeit der Ausnutzungsraten von der Legeleistung war nicht festzustellen. (Vgl. aber Versuch IIb/63, 2.)
5. Der Xanthophyllgehalt der Grünmehle hatte keinen Einfluß auf die Ausnutzungsraten.



Pigmentgehalt im Eidotter bei 13,2 ppm Pigment im Alleinfutter.
Die einzelnen Werte sind Durchschnittswerte aus jeweils drei Einzeluntersuchungen (Versuch I/63).

VERSUCH IIa/63 (26. 6. bis 16. 7.) (Tabelle 2)

An 60 Hennen, eingeteilt in 8 Gruppen, wurden Futterrationen verabreicht, die 13,0 bzw. 6,5 ppm Xanthophyll enthielten.

Als Farbstoffträger wurden folgende Grünmehle verwendet:

1. Rübsengrünmehl	(350 ppm Xanthophyll)	
2. Kleegrasmehl II	(540 " ")	in der
3. Luzernegrünmehl II	(435 " ")	lufttr.
4. Landsberger-Gemenge-Grünmehl	(470 " ")	Substanz

Diese Grünmehle stammten ohne Ausnahme aus der Ernte 1963.

Die Ergebnisse des Versuches IIa/63 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Eine direkte, nahezu lineare Abhängigkeit zwischen Xanthophyllgehalt des Futters und Pigmentgehalt des Dotters konnte wiederum bestätigt werden.
2. Die Ausnutzungsraten liegen insgesamt wesentlich niedriger als in Versuch I/63. Diese Erscheinung könnte mit einer verringerten Futteraufnahme infolge herabgesetzten Energiebedarfs in Zusammenhang stehen, da während Versuch IIa/63 erheblich höhere Temperaturen herrschten als bei Versuch I/63. Ein Beweis war indessen nicht zu führen, weil die Ermittlung des exakten Futterverzehr in all diesen Versuchen unterbleiben mußte. (Vgl. S. 35)
3. Signifikante Unterschiede in der Ausnutzung der Grünmehle bestehen nicht.
4. Abweichend zu Versuch I/63 wurde in Versuch IIa/63 das Luzernegrünmehl nicht besser als andere Grünmehle ausgenutzt.
5. Um zu klären, ob die beträchtlichen Ausnutzungsunterschiede der beiden Luzernegrünmehle auf wesentliche Unterschiede im Rohfaser- oder Rohproteingehalt zurückzuführen sind, wurden Rohfaser- und Rohproteingehalt der Luzernegrünmehle I und II sowie des Rübsengrünmehles bestimmt.

Versuch II a / 63 (26.6.63 - 16.7.63)

Verwendete Grünmehle: Rübsen Kleegras II	(350 ppm Xanthophyll) (540 ")	Luzerne II (470 ")	(435 ppm Xanthophyll) (470 ")	Temperatur - Mittelwerte Sonnenscheiddauer	
				13,1 - 23,9 ° C 8,4 Std. Sonne täglich	
				Farbindex = (Xanthophyllgeh. /) - Blindwert (g. Dotter) Xanthophyllgeh. / g. Futter	
				Ausnutzungsrate = (Xanthophyllgeh. / - Blindw.) · 100 (Gesamtdotter) Xanthophyllgeh. / 160 g Futter	
				mcg Xanthophyll / g Dotter abzüglich Blindwert	
				mcg Xanthophyll / Gesamtdotter abzüglich Blindwert	
				Legeleistung in %	
				n	
				Xanthophyllgehalt der Versuchsr�tion (ppm)	
				Farbstoffträger in der Versuchsr�tion	
1/1 Rübsen	13,0	8		11,6	9,9
1/2 Rübsen	6,5	7		5,5	10,3
1/1 Kleegras II	13,0	8		10,0	9,2
1/2 Kleegras II	6,5	8		4,3	7,6
1/1 Luzerne II	13,0	7		9,3	8,3
1/2 Luzerne II	6,5	7		4,6	8,6
1/1 Landsberger Gem.	13,0	7		11,8	11,2
1/2 Landsberger Gem.	6,5	8		5,8	10,5

TABELLE 2

	Rohfaser	Rohprotein
Luzerne I	21,90 %	18,79 %
Luzerne II	22,18 %	21,98 %
Rübsen	22,48 %	18,18 %

Der Rohfasergehalt aller drei Proben war annähernd identisch. Größer waren die Unterschiede im Rohproteingehalt. Die Luzerne I mit hohem Farbindex lag im Rohproteingehalt ungünstiger als Luzerne II.

In VERSUCH IIb/63 (26. 6. bis 1. 8.) (Tabelle 3)

wurden die gleichen Rationen wie in Versuch IIa/63 an 24 Hennen in Batterieeinzelhaltung verabreicht. In Tabelle 3 sind die Xanthophyllgehalte der Eidotter unter dem Legedatum eingetragen. Aus den Werten der Tabelle wird deutlich:

1. Der Xanthophyllgehalt der Eidotter hängt vom Legerhythmus ab. Hat eine Henne längere Zeit, vor allem im Stadium der Brütigkeit, mit der Eiproduktion ausgesetzt, so zeichnet sich das erste Ei des neuen Geleges durch einen besonders hohen Pigmentgehalt aus. Das erste Ei kann im Xanthophyllgehalt um 30 - 40 % höher liegen als der Durchschnitt des Gesamtgeleges.
2. Die Daten aus der Legehenneneinzelhaltung zeigen auch, daß die Höhe der Ausnutzungsrate bei Zugrundelegung des tatsächlichen Futterverzehrs größeren individuellen Schwankungen der Hennen unterworfen ist. Es scheint aber doch die Tendenz vorhanden zu sein, daß Hennen mit schlechter Legeleistung eine Neigung zu stärkerer Farbstoffkonzentration im Eidotter, verglichen mit Tieren höherer Leistung, zeigen.

Verwendete Grünmehle: Rübsen (350 ppm Xanthophyll)
Klee gras II (540 " " " " " "

Futtergruppe +) Henne Nr.	I			II	
	1	18	19	2	17
8.7.	187			176	
9.7.	200	314		162	
10.7.	209	297		152	110
11.7.	222			163	
12.7.		352			
13.7.	229	302		170	143
14.7.	242			190	175
15.7.	225	330		154	155
16.7.	243	339			
17.7.	240			170	128
18.7.	260	297		148	
19.7.	244	335		153	
20.7.	235	292			
21.7.				135	
22.7.	267	311		120	
23.7.	256	341	508	117	229
24.7.	240	327	444	212	191
25.7.	233	320	361	132	136
26.7.	219	n	349	167	161
27.7.	186	302			124
28.7.			330	129	
29.7.	203		391	—	
30.7.		—	321		130
31.7.			—		998
1.8.					108
Futterverbrauch/Tag in g	136	118	114	121	111
Futterverbrauch/Ei	158	194	392	157	214
Legeleistung in %	86	61	29	77	52
mcg Xanthophyll/Gesamtdotter abzüglich Blindwert	194	285	352	122	112
mcg Xanthophyll/g Dotter abzüglich Blindwert	10,8	14,6	16,7	6,0	6,1
Ausnutzungsrate bei tatsächlichem Futterverzehr/Ei in %	9,5	11,3	6,9	12,0	8,1
($\frac{\text{Xanthophyll-Gehalt pro Gesamtdotter} - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyll-Gehalt/Futterverzehr/Ei}} \cdot 100$)					
Ausnutzungsrate bei einem angenommenen Futterverzehr von 160 g/Ei in %	9,3	13,7	16,9	11,7	10,8
($\frac{\text{Xanthophyll-Gehalt/Gesamtdotter} - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyll-Gehalt/160 g Futter}} \cdot 100$)					
Farbindex = $\frac{\text{Xanthophyll-Gehalt/g Dotter} - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyll-Gehalt/g Futter}}$	0,83	1,12	1,28	0,92	0,94

Temperaturmittelwerte 13,1 - 23,9°C Sonnenscheindauer 8,4 Std. täglich

+) Futtergruppe: I = 1/1 Rübsen, II = 1/2 Rübsen, III = 1/1 Klee gras, IV = 1/2 Klee gras,
VIII = 1/2 Landsberger Gemenge. 1/1 Dosierung = 13,0 ppm Xanthophyll

bis 1. 8. 1963)

Luzerne II (435 ppm Xanthophyll)
Landsberger Gemeinde (470 " ")

	III			IV	V		VI		VII			VIII		
20	3	16	21	15	5	14	6	13	24	7	12	25	11	26
mcg Xanthophyll / Gesamtdotter														
131		226			254	226			130				131	
140			175	182				158			181	269		147
159		239	162	157	242	223		151				254	123	
126			192		253	235		166	138			206	121	
		275	263	175	255	211		142				256	127	
141		245	202	278				150	102			203	114	
128		238	183	149	252	228		128	105				118	
145					249	223			110	386		241		
			198	145	247	252		134		402		232	105	
		226	209	167	228			98	110	302			170	
		238	194			258			112	341		252		
133		213		150	212	214		130	112	312		188	119	
		218	185		212			121		300				
130				140	211	221						194	112	
131		247		131	212	223		129		249	381	225	133	203
195	344			142		243		117		231		201	116	170
145	326	254	213	131	217	205		113		252		203	110	128
	275			137	204		228	109		237	303	185		135
	287	172			216		194	140			259	219	119	
				122				112			248		120	
	241	268	219	135	238		213						120	
	—	251		—	228	206	192	103			283		118	
					206	221					257		119	
					205								109	
					—	—		—						
138	91	121	125	122	111	114	91	111	133	138	103	133	114	125
207	400	190	219	179	146	182	501	163	316	248	339	169	144	476
67	23	64	57	68	76	63	18	68	42	56	30	79	79	28
108	261	202	166	122	194	192	173	95	81	267	239	188	88	123
5,8	14,4	9,7	8,4	6,5	10,3	10,4	8,7	5,1	4,2	13,2	12,9	10,0	5,4	6,8
8,0	5,0	8,2	5,8	10,5	10,2	8,1	5,3	9,0	3,9	8,3	5,4	8,6	9,4	4,0
10,4	12,6	9,7	8,0	11,7	9,3	9,2	16,6	9,1	7,8	12,8	11,5	9,0	8,5	11,8
0,89	1,11	0,75	0,65	1,00	0,79	0,80	1,34	0,78	0,65	1,02	0,99	0,77	0,83	1,05

V = 1/1 Luzerne, VI = 1/2 Luzerne, VII = 1/1 Landsberger Gemeinde,
1/2 Dosierung = 6,5 ppm Xanthophyll

VERSUCH III/63 (31. 10. bis 20. 11.) (Tabelle 4)

4 Versuchsgruppen zu je 9 Tieren bekamen ein Futter, das 20 ppm Xanthophyll enthielt.

Verwendete Grünmehle:

1. Rübsengrünmehl	(240 ppm Xanthophyll)	
2. Kleegrasmehl II	(335 " ")	in der
3. Rapsgrünmehl II	(420 " ")	lufttrocknen
4. Gras-Luzerne-Grünmehl	(485 " ")	Substanz

Rübsen- und Kleegrasmehl gehörten derselben Charge wie in Versuch II/63 an, hatten aber während der mehrmonatigen Lagerungszeit deutlich im Xanthophyllgehalt abgenommen. Das Raps- und das Gras-Luzerne-Grünmehl stammten wie die vorerwähnten Versuchsmuster aus der Ernte 1963. Versuch III/63 und Versuch I/63 liefen bei nahezu gleichen Temperaturen.

Ergebnisse:

1. Die Ausnutzungsraten der Grünmehle liegen in einem ähnlichen Bereich wie in Versuch I/63.
2. Es bestehen deutliche Unterschiede in der Ausnutzung von Rübsen- und Rapsgrünmehl II (durchschnittlich 15,9%) einerseits und Klee gras-II- und Gras-Luzerne-Grünmehl (durchschnittlich 12,2%) andererseits.

VERSUCH IV/63 (31. 10. bis 20. 11.) (Tabelle 5)

7 Hennen in Batterieeinzelhaltung wurde ein Futter verabreicht, dem über Ahornblätter 20 ppm Xanthophyll beigemischt waren. Es handelt sich um Blätter des Spitzahorns (*Acer platanoides*), die zur Zeit der intensiven Gelbfärbung im September 1963 geerntet, für 2 Stunden bei 130°C getrocknet und dann vermahlen wurden. Ihr Xanthophyllgehalt lag bei 525 mg/kg.

Ergebnisse:

1. Die durchschnittliche Ausnutzungsrate für die Xanthophylle von *Acer platanoides* lag bei einem angenommenen Futterverzehr von 160 g/Eidotter mit durchschnittlich 6,8% erheblich niedriger als die der Grünmehle aus Versuch III/63, obwohl beide Versuche zur gleichen Zeit, also unter denselben Temperaturbedingungen liefen.
2. Berechnet man dagegen die Ausnutzungsrate aus dem während der Versuchsperiode ermittelten Futterverzehr/Ei, so könnten die nicht unerheblichen Ausnutzungsunterschiede auf den jeweiligen Legerhythmus und auch auf die individuelle Veranlagung der Hennen zurückzuführen sein.

VERSUCH V/63 (1. 12. bis 21. 12.) (Tabelle 6 und 6a)

Verwendete Farbstoffträger:

Rübsengrünmehl (230 ppm Xanthophyll in der lufttrocknen Substanz)
Anatto-Extrakt (172800 " Gesamtgelbwert)

In den Versuchen II/63 und III/63 wurden die Xanthophylle des Rübsengrünmehles stets deutlich besser als die des Klee gras- und des Gras-Luzerne-Grünmehls ausgenutzt. Um dieses Ergebnis zu festigen, wurde das Rübsengrünmehl in Dosierungen von 10 und 20 ppm Xanthophyll je 9 Hennen angeboten. In diesem Versuch sollte weiter geprüft werden, ob die Linearität zwischen Eidotterpigmentierung und Farbstoffgehalt des Legehennenfutters, die bisher stets im Bereich von 6 - 13 ppm Xanthophyllgehalt im Futter beobachtet werden konnte, auch bei höherer Farbstoffkonzentration (20 ppm) erhalten bleibt.

Im gleichen Versuch erhielten 2 Hennen in Batterieeinzelhaltung ein Futter, dem über Anatto-Extrakt 57,4 ppm Gesamtgelbwert beigemischt waren. Anatto ist die Handelsbezeichnung für den aus dem Fleisch der Früchte des Orleanbaumes (*Bixa orellana*) gewonnenen Farbstoff. Er besteht vorwiegend aus dem Carotinoid Bixin, das dem Monomethylester des Nor-Bixins (vgl. S. 4) entspricht. Bixin selbst findet als fettlöslicher Lebensmittelfarbstoff in der Nahrungsmittelindustrie Verwendung.

Ergebnisse:

1. Es besteht auch bei einer Dosierung bis zu 20 ppm Xanthophyll im Legehennenfutter noch Linearität zwischen Pigmentgehalt des Futters und dem des Dotters.
2. Bei Berücksichtigung der Legeleistung und der Temperatur wird das Ergebnis der Rübsen aus Versuch III/63 bestätigt.
3. Die Farbstoffe (vorwiegend Bixin) des Anatto-Extraktes zeigten nur wenig Tendenz, in den Eidotter überzugehen.

VERSUCH I/64 (1. 2. bis 21. 2.) (Tabelle 7)

Verwendete Grünmehle:

- | | | |
|--------------------------|-----------------------|--------------|
| 1. Gras-Luzerne-Grünmehl | (430 ppm Xanthophyll) | in der luft- |
| 2. Rübsengrünmehl | (220 " ") | trocknen |
| | | Substanz |

Nachdem im Versuch V/63 die hohe Ausnutzungsrate des Rübsengrünmehls früherer Versuche bestätigt werden konnte, wurde es im vorliegenden Versuch noch einmal direkt mit dem Gras-Luzerne-Grünmehl, dessen Ausnutzungsrate im Versuch III/63 signifikant niedriger als die des Rübsengrünmehls lag, verglichen. Die beiden Grünmehle wurden dem Grundfutter in solcher Konzentration beigemischt, daß die fertigen Rationen 20 ppm Xanthophyll enthielten. Diese wurden 2 Versuchstiergruppen zu je 14 Hennen angeboten.

Versuch IV / 63 (31.10 63 - 1.12.63)

Verwendetes Grünmehl: Ahornblätter (acer platanoides, 525 ppm Xanthophyll)
Xanthophyllgehalt der Versuchsration: 20,0 ppm

Versuchstag	Henne Nr	1	18	19	2	20	5	15
			mcg Xanthophyll / Gesamtdotter					
12.11.		188	290	255	169	281	253	
13.11.					173	273	280	418
14.11.		169		245		251		430
15.11.		179	310	235	214	250	258	358
16.11.					229	220	266	
17.11.		171	288	226	220			
18.11.		163	291	227	204	233	251	
19.11.		152			235	230	258	
20.11.		176		228		253	253	
21.11.		170		259	235			
22.11.		192				262	229	
23.11.				266				
24.11.		170		252				
25.11.					226		259	
26.11.		179			246		258	
27.11.				239	279		282	
28.11.		153		228	295			
29.11.		153			267			
30.11.		170		235				
1.12.		166		237				

Futterverzehr / Tag i. g	125	125	138	138	125
Futterverzehr / Ei i. g	167	690	206	307	920
Legeleistung in %	75	20	65	45	15
mcg Xanthophyll / Gesamtdotter - Blindwert	124	249	184	204	356
mcg Xanthophyll / g Dotter - Blindwert	8,1	11,9	8,6	11,0	18,5
Ausnutzungsrate bei tatsächlichem Futterverzehr / Ei in % (= $\frac{\text{Xanthophyll-Gehalt} / \text{Gesamtdotter} - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyll-Gehalt} / \text{Futterverzehr} / \text{Ei}} \cdot 100$)	3,7	1,8	4,5	3,3	1,9
Ausnutzungsrate bei einem angenommenen Futterverzehr von 160 g / Ei (= $\frac{\text{Xanthophyll-Gehalt} / \text{Gesamtdotter} - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyll-Gehalt} / 160 \text{ g Futter}} \cdot 100$)	3,9	7,8	5,8	6,4	11,1
Farbindex (= $\frac{\text{Xanthophyll-Gehalt} / \text{g Dotter} - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyll-Gehalt} / \text{g Futter}}$)	0,41	0,60	0,43	0,55	0,93

Temperaturmittelwerte 5,6 - 13,9 °C 2,5 Std. Sonne täglich

TABELLE 5



Versuch V / 63 (1.12.63 - 21.12.63)

Verwendeter Farbstoffträger:

Anatto - Extrakt (172 800 ppm Gesamtgelbwert)

Xanthophyllgehalt der Versuchsration: 57, 4 ppm

Versuchstag	Henne Nr.	3 mcg Xanthophyll / Gesamdotter	4
11.12.			37
12.12.		35	38
13.12.			41
14.12.		44	39
15.12.		42	43
16.12.		66	42
17.12.			
18.12.		63	76
19.12.		56	44
20.12.		66	
21.12.		54	43
Futterverzehr / Tag in g		139	139
Futterverzehr / Ei		191	169

mcg Xanthophyll / g Dotter - Blindwert			
Ausnutzungsrate bei tatsächlichem Futterverzehr / Ei in %			
(= $\frac{\text{Xanthophyll-Gehalt / Gesamt-dotter} - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyll-Gehalt / Futterverzehr} - \text{Ei}} \cdot 100$)	0,9	0,6	
(= $\frac{\text{Xanthophyll-Gehalt / Futterverzehr} - \text{Ei}}{\text{Xanthophyll-Gehalt / Gesamt-dotter} - \text{Blindwert}} \cdot 100$)	0,2	0,1	
Ausnutzungsrate bei einem angenommenen Futterverzehr von 160 g / Ei			
(= $\frac{\text{Xanthophyllgehalt / Gesamt-dotter} - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyllgehalt / 160 g Futter}} \cdot 100$)	0,2	0,1	
Farbindex (= $\frac{\text{Xanthophyllgehalt / g Dotter} - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyllgehalt / g Futter}}$)	0,0	0,0	

Temperaturmittelwerte: - 6,1 bis - 1,7 ° C, 1,4 Std. Sonne täglich

TABELLE 6 a

Versuch V / 63 (1.12.63 - 21.12.63)

Verwendeter Farbstoffträger: Rübsen

(230 ppm Xanthophyll)

Temperaturmittelwerte	- 6,1 bis - 1,7 °C 1,4 Std. Sonne täglich	
Sonnenscheindauer		
Farbindex = $\frac{(\text{Xanthophyllgeh. / g Dotter}) - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyllgeh. / g Futter}}$	1,41	1,25
Ausnutzungsrate = $\frac{(\text{Xanthophyllgeh. / g Gesamtdotter}) - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyllgeh. / 160 g Futter}} \cdot 100$	18,7	16,2
mcg Xanthophyll / g Dotter abzüglich Blindwert	28,1	12,5
mcg Xanthophyll / Gesamtdotter abzüglich Blindwert	599 ± 16,0 %	260 ± 11,1 %
Legeleistung in %	58	76
n	9	9
Xanthophyllgehalt der Versuchsration (ppm)	20,0	10,0
Farbstoffträger in der Versuchsration	1/1 Rübsen	1/2 Rübsen

TABELLE 6

Versuch I/64 (1.2.64 - 21.2.64)			
Verwendete Grünmehle:		Gras-Luzerne Rüben	
		(430 ppm Xanthophyll) (220 ppm Xanthophyll)	
Farbstoffträger in der Versuchsration		Gras-Luzerne	Rüben
Xanthophyllgehalt der Versuchsration (ppm)		20,0	20,0
n		14	14
Legeleistung in %		19	25
		409 ± 9,4 %	475 ± 20,7 %
mcg Xanthophyll / Gesamtdotter abzüglich Blindwert		18,8	23,7
		12,8	14,8
Ausnutzungsrate = (Xanthophyllgeh / - Blindwert) · 100 (Gesamtdotter)		0,94	1,19
Xanthophyllgehalt / g Futter		0,94	1,19
Farbindex = (Xanthophyllgehalt / - Blindwert (g Dotter)		0,94	1,19
Sonnenscheindauer		- 2,5 bis 2,3 ° C 1,6 Std. Sonne tgl.	
Temperaturmittelwerte			

TABELLE 7

Versuch II/64 I 27.1.64 - 20.2.64)

Verwendete Farbstoffträger: Tagetes erecta (5700 ppm Xanthophyll)

Bixin (Hoffmann - La Roche, Basel, Ro 1-8153, 1959)

Xanthophyllgehalt der Versuchsratzen: Hennen Nr. 1, 2 und 4: 280 ppm

Hennen Nr. 5, 6, 14 und 16: 20 ppm

Versuchstag:	Hennen - Nr.	1	2	4	5	6	14	16
		mcg Xanthophyll / Gesamtdotter						
6.2.		49	61	45	410		524	598
7.2.			54	39				
8.2.			61	44	441	474	550	
9.2.				37	375	535		
10.2.				43	433	566	622	729
11.2.					435			
12.2.			52	45				
13.2.				44	459		690	670
14.2.				449				
15.2.				43	483	670	584	668
16.2.				45	472		467	813
17.2.			60	43		499		
18.2.				45	412	490	466	526
19.2.								

Ergebnisse:

1. Die Ergebnisse des Versuchs III/63 für Rübsen- und Gras-Luzernemehl wurden in der Tendenz bestätigt. Die Unterschiede in der Ausnutzungsrate waren jedoch nicht mehr so erheblich wie in Versuch III/63.
2. Die Annäherung der Ausnutzungsraten könnte mit der mangelhaften Legeleistung beider Versuchsgruppen zusammenhängen.

VERSUCH II/64 (1. 2. bis 21. 2.) (Tabelle 8)

WILLIAMS und Mitarbeiter (20) erreichten in Pigmentausnutzungsversuchen mit reinem Bixin bessere Ergebnisse als mit Zeaxanthin und Lutein. In einem eigenen Versuch zeigten die Farbstoffe des Anatto-Extraktes, dessen Hauptpigment das Bixin ist, keine Tendenz, in den Eidotter überzugehen. Deshalb wurde im Versuch II/64 3 Hennen in Batterieeinzelhaltung ein Futter mit einem Gehalt von 280 (!) ppm reinem Bixin (Hoffmann - La Roche, Basel, Ro 1-8153, 1959) angeboten. Im gleichen Versuch erhielten 4 Hennen in Batterieeinzelhaltung ein Futter, dem über Blütenblätter der mexikanischen Ringelblume (*Tagetes erecta*) 20 ppm Xanthophyll beigemischt waren. Die Blütenblätter von *Tagetes* zeichnen sich durch sehr hohen Farbstoffgehalt aus. In der vorliegenden Probe wurden 5700 ppm Xanthophyll in der lufttrocknen Substanz gefunden.

Ergebnisse:

1. Bixin ging auch in hoher Konzentration von 280,0 ppm im Futter nicht in den Eidotter über.
2. Die Xanthophylle der *Tagetes* wurden bei einem angenommenen Futterverzehr von 160 g/Ei mit durchschnittlich 15,7% etwa in gleicher Höhe wie die des Rübsengrünmehles ausgenutzt.
3. Wie auch in anderen Versuchen mit Batterieeinzelhaltung der Tiere, zeigt sich, daß die für den ermittelten Futterverzehr pro Ei errechnete Ausnutzungsrate erheblich vom Legerhythmus abhängig ist.

VERSUCH III/64 (13. 3. bis 2. 4.) (Tabelle 9)

Verwendeter Farbstoffträger: Gelbmais (29 ppm Xanthophyll)

In vielen Ländern spielt der Gelbmais eine dominierende Rolle in der Geflügelfütterung. Diese Stellung gründet sich nicht zuletzt auf die hohe Ausnutzung seiner Xanthophylle bei der Pigmentierung des Eidotters.

Um einen Vergleich zu den Grünmehlen der vorausgegangenen Versuche zu haben, sollte das Maisversuchsfutter ebenfalls 20 ppm Xanthophyll enthalten. Der Getreideanteil des Grundfutters mußte deshalb weitgehend durch Mais ersetzt werden. Es kam ein Versuchsfutter zustande, das 69% Mais und 14% statt 12% Sojaschrot (50% Rohprotein) enthielt.

Im vorliegenden Versuch wurden erstmalig Junghennen verwendet.

Ergebnisse:

1. Mit einer Ausnutzungsrate von 18,8% bei einem angenommenen Futterverzehr von 160 g/Ei zeigt sich der Gelbmais als Farbstoffträger bei der Dotterpigmentierung der Mehrzahl der im Verlauf der Arbeit untersuchten handelsüblichen Grünmehle überlegen.
2. Außerdem hat sich der Farbindex

$$\frac{\text{ppm Xanthophyll/g Dotter abzüglich Blindwert}}{\text{ppm Xanthophyll/g Futter}}$$

gegenüber früheren Versuchen nahezu verdoppelt, da das durchschnittliche Dottergewicht der Junghenneneier nur 14,6 g gegenüber 21,8 g der Althenneneier im Versuch I/64 betrug.

Versuch III/64 (13.3.64 - 2.4.64) x)

Verwendeter Farbstoffträger: Gelbmais (29 ppm Xanthophyll)

Temperaturmittelwerte	0,8 - 7,1 °C
Sonnenscheindauer	1,4 Std. Sonne täglich
Farbindex = $\frac{(\text{Xanthophyllgeh. / g Dotter}) - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyllgeh. / g Futter}}$	2,05
Ausnutzungsrate = $\frac{(\text{Xanthophyllgeh. / Blindw.})}{(\text{Gesamtdotter})} \cdot 100$	18,8
mcg Xanthophyll / g Dotter abzüglich Blindwert	41,0
mcg Xanthophyll / Gesamtdotter abzüglich Blindwert	601 ± 12,5 %
Legeleistung in %	88
n	10
Xanthophyllgehalt der Versuchsration (ppm)	20,0
Farbstoffträge in der Versuchsration	Gelbmais

x) Junghennen

TABELLE 9

VERSUCH IV/64 (13. 3. bis 2. 4.) (Tabelle 10)

Verwendeter Farbstoffträger: Rübsengrünmehl (215 ppm Xanthophyll)

Bisher hat sich gezeigt, daß - von geringeren Ausnutzungsunterschieden der Grünmehle abgesehen - zum Teil doch erhebliche Differenzen in den Durchschnittsergebnissen der einzelnen Versuche bestehen. Besonders deutlich tritt das bei einem Vergleich der Versuche II/63 und III/63 in Erscheinung. Liegt die durchschnittliche Ausnutzungsrate pro Gesamtdotter bei einem angenommenen Futterverzehr von 160 g/Dotter im Versuch II/63 bei 9,5%, so beträgt sie im Versuch III/63 14,0%. Es wurde versucht, diese Differenzen mit einem verminderten Futterverzehr infolge höherer Temperaturen zu erklären. Tatsächlich stiegen die Ausnutzungsraten stets mit fallenden Temperaturen. In Versuch IV/64 sollte geprüft werden, ob dieser Erscheinung eine Gesetzmäßigkeit zugrunde liegt.

10 Junghennen in Batterie-Einzelhaltung erhielten ein Futter mit 20 ppm Xanthophyll. Zur Farbstoffanreicherung diente das bereits wiederholt untersuchte Rübsengrünmehl. Fünf der Hennen (Nr. 1 - 5) wurden bei Temperaturen zwischen 9 und 13°C, die Hennen Nr. 6 - 10 bei Temperaturen zwischen 23 und 27°C gehalten.

Ergebnisse:

1. Es bestehen Ausnutzungsunterschiede zwischen den beiden Hennengruppen. Die Hennen Nr. 1 - 5 (niedrige Temperatur) nutzten das angebotene Xanthophyll zu durchschnittlich 15,2%, die Hennen Nr. 6 - 10 (hohe Temperatur) aber nur zu durchschnittlich 13,9% aus (bei einem angenommenen Futterverzehr von 160 g/Ei).
Dieser Unterschied ist im t-Test für $p = 0,1$ schwach gesichert.
2. Diese Ausnutzungsunterschiede sind nicht mehr festzustellen, wenn man die Ausnutzungsrate mit dem tatsächlich ermittelten Futterverzehr bestimmt, da die Hennen Nr. 6 - 10 (hohe Stalltemperatur) ca. 10% weniger Futter pro Tag verzehrten.
3. Der Farbindex der Junghennendotter ist wie in Versuch III/64 wiederum signifikant höher als in den Versuchen mit Althennen. Das bedeutet, daß Junghennendotter bei gleichem Xanthophyllangebot intensiver gefärbt sind.

Versuch IV/64 (13.3.64 -

Verwendetes Grünmehl:

Rübsen

Xanthophyllgehalt der Versuchsration: 20 ppm

Hennen-Nr.	1	2
Versuchstag:		
	m c l	
28.3.	535	559
29.3.	496	564
30.3.	528	504
31.3.	537	587
1.4.	551	598
2.4.	604	559
3.4.	512	543
4.4.	512	547
5.4.		564
6.4.	543	
7.4.	517	577
8.4.	571	
9.4.	513	562
Futtermittelverzehr / Tag in g	143	143
Futtermittelverzehr / Ei in g	155	169
Legeleistung in %	92,3	85
mcg Xanthophyll / Gesamtdotter - Blindwert	481	502
mcg Xanthophyll / g Dotter - Blindwert	35,0	32,8
Ausnutzungssrate bei tatsächlichem Futtermittelverzehr / Ei in % { = $\frac{\text{Xanthophyll-Gehalt} / \text{Gesamtdotter} - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyll-Gehalt} / \text{Futtermittelverzehr} / \text{Ei}} \cdot 100$ }	15,5	14,9
Ausnutzungssrate bei einem angenommenen Futtermittelverzehr von 160 g / Ei { = $\frac{\text{Xanthophyll-Gehalt} / \text{Gesamtdotter} - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyll-Gehalt} / 160 \text{ g Futter}} \cdot 100$ }	15,0	15,7
Farbindex { $\frac{\text{Xanthophyll-Gehalt} / \text{g Dotter} - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyll-Gehalt} / \text{g Futter}}$ }	1,75	1,6

Temperaturmittelwerte:

Hennen Nr. 1 - 5

Hennen Nr. 6 - 10

4.34) +)

215 ppm Xanthophyll)

3	4	5	Durchschnittswerte 1 - 5	6	7	8	9	10	Durchschnittswerte 6 - 10
Xanthophyll / Gesamtdotter									

05	540	497		480	440	518	412		
18	556	531		463	492	500	438	499	
53	532	570		497	486	563		514	
41		558		512		558	489		
	542	531		503	474	542	467	449	
36	571	567		557	554	578	503	439	
87	562			510	481	518	475	416	
19	524	474			514	495	448	397	
78	547	514						441	
	543	498		530	501	543	432	455	
	568	476		522			475		
	574	485		519	517	593	428	501	
59	549	536		539	493	588	438	476	
43	143	143	143	129	126	129	126	126	127,2
06	155	155	168	152	164	152	149	164	156,2
69	92	92	---	85	77	85	85	77	---
85	500	469	487,4	473	450	489	402	414	445,6
39,4	36,3	33,3	35,4	35,3	31,0	33,9	28,3	30,0	31,7
11,8	16,1	15,1	14,7	15,6	13,7	16,1	13,5	12,6	14,3
15,2	15,6	14,7	15,2	14,8	14,1	15,3	12,6	12,9	13,9
1,97	1,82	1,67	1,77	1,77	1,55	1,70	1,42	1,50	1,59

9 - 13 °C Stalltemperatur
23 - 27 °C Stalltemperatur

+) Junghennen

4. Die Sättigung der Dotter mit dem angebotenen Xanthophyll trat erst am 14. Tage nach Versuchsbeginn ein (vgl. dagegen Abb. 1).

DISKUSSION

Von vielen Autoren wurde in Pigmentausnutzungsversuchen eine unterschiedliche Verwertbarkeit der isolierten sauerstoffhaltigen Carotinoide zur Dotterfärbung durch die Legehennen festgestellt. Gute Ergebnisse wurden vor allem mit Zeaxanthin, das ca. $\frac{1}{3}$ des Maispigmentes ausmacht, und mit Xanthophyll, das den Hauptanteil des gelben Mischpigmentes der grünen Pflanzenmasse bildet, erzielt. Da einerseits in den Pflanzen ein Gemisch einer großen Anzahl von Carotinoiden vorliegt (4), und andererseits die Ausnutzungsrate eines Carotinoids sich bei Anwesenheit weiterer Carotinoide oder anderer Substanzen verändern kann (20), wurde in der vorliegenden Arbeit untersucht, ob die Herkunft der Xanthophylle einen Einfluß auf die Ausnutzung ausübt.

Für die Versuche standen 2 Grünraps-, 2 Luzerne-, 1 Grünhafer-, 2 Klee-gras-, 1 Rübsen-, 1 Landsberger-Gemenge- und 1 Gras-Luzerne-Grünmehl und 1 Gelbmaisschrot zur Verfügung. Die Grünmehle stammten teils aus der Ernte 1962 und teils aus der Ernte 1963. Der Pigmentgehalt der Grünmehle lag im Bereich von 160 bis 540 ppm. Antioxydanzusätze, wie z. B. Ethoxyquin, enthielten sie nicht. Neben diesen handelsüblichen Futterpflanzen wurde noch ein selbst hergestelltes Spitzahornblattmehl (*Acer platanoides*) und ein Mehl aus den Blütenblättern der mexikanischen Ringelblume (*Tagetes erecta*) untersucht, sowie Anatto-Extrakt und reines kristallisiertes Bixin. *Tagetes erecta* und Anatto-Extrakt erregten insofern das Interesse, da sie erfahrungsgemäß sauerstoffhaltige Carotinoide in sehr hoher Konzentration enthalten. Bei eigenen Untersuchungen wurden in *Tagetes* 5700 ppm Xanthophyll gefunden. In Anatto ist das Carotinoid Bixin stark angereichert vorhanden, welches auch als Lebensmittelfarbstoff bereits Verwendung findet. Würden die Xanthophylle aus Pflanzen mit derartig hohem Pigmentgehalt annähernd so gut in den Eidotter eingelagert werden wie die aus Luzerne oder Gelbmais, wären sie hervorragend geeignet, den Pigmentanteil des Legehennenfutters zu stellen.

a) Zur Methodik

In den Pigmentausnutzungsversuchen wurden die Farbstoffträger einem pigmentarmen Grundfutter in einer solchen Menge beigemischt, daß das Versuchsfutter einen bekannten Xanthophyllgehalt hatte. Dieses Versuchsfutter

wurde HNL-Hennen, die zum Teil in Einzelbatterien, zum Teil in Tiefställen gehalten wurden, zur beliebigen Aufnahme angeboten. Die Versuchsergebnisse stützen sich auf ein umfangreiches Untersuchungsmaterial. Insgesamt wurden die Xanthophyllanalysen von ca. 1350 Eidottern ausgewertet.

Im Versuch I/63 wurde geprüft, nach welcher Zeit die Sättigung der Dotter mit dem durch das Futter aufgenommenen Pigment eintritt. In Übereinstimmung mit TIEWS und ZUCKER (18) konnte nachgewiesen werden, daß am 10. Tag nach Beginn der Pigmentzufütterung ein Farbstoffplateau im Eidotter erreicht wird. In den folgenden Versuchen wurden die Eidotteruntersuchungen deshalb stets erst nach dem 11. Versuchstage durchgeführt. In Versuch IV/64, in dem erstmalig Junghennen eingesetzt wurden, war das Farbstoffplateau dagegen erst am 14. Tag erreicht. Dieser Termin nähert sich dem von RAUCH (15), der in seinen Versuchen ein Farbstoffplateau im Eidotter zwischen 2 - 3 Wochen nach Beginn der Pigmentzufütterung erhielt.

Die Ergebnisse der Xanthophyllanalysen wurden in zwei Richtungen ausgewertet. Zuerst wurde geprüft, welcher Prozentsatz des mit dem Futter aufgenommenen Pigments in den Eidotter eingelagert wurde. Um diese prozentuale Ausnutzung des im Futter angebotenen Pigments/Gesamtdotter bestimmen zu können, mußte der tägliche Futtermittelverzehr und damit die Futtermenge, die zur Produktion eines Eies von der Henne benötigt wird, bekannt sein. Die Bestimmung des genauen Futtermittelverzehrs aber war problematisch, da vor allem in den Tiefställen viel Futter von den Hennen verstreut wurde. Nach der Rückwägung des Futters beim Versuchsabschluß wurde daher teilweise ein Futterverbrauch bis zu 250 g/Tier und Tag ermittelt. Auf derartige Werte ließ sich kein Bezug nehmen. Deshalb wurde für den Futterverzehr/Ei ein Durchschnittswert von 160 g Mischfutter zugrunde gelegt. Dieser Erfahrungswert gilt für Hennenbestände mit 80 bis 90% Legeleistung. Bei den in Batterien gehaltenen Hennen konnte der tägliche Futterverzehr dagegen bestimmt werden, da es den Tieren infolge der günstigeren Konstruktion der Futterbehälter nicht möglich war, das Futter in gleichem Maße wie in den Tiefställen zu verstreuen. Deshalb wurde bei den Batteriehühnern die Ausnutzungsrate für den tatsächlichen Futterverzehr/Ei berechnet.

Um eine Vergleichsmöglichkeit für die Ergebnisse aus Batterie- und Tiefstallhaltung zu haben, wurde für die Batteriehühner zusätzlich die Ausnut-

zungsrates für 160 g Futter/Ei berechnet.

1. Ausnutzungsrates =

$$\frac{(\text{Xanthophyllgehalt/Gesamtdotter} - \text{Blindwert}) \cdot 100}{\text{Xanthophyllgehalt/160 g Futter (bzw. /tatsächl. Futterverzehr/Ei)}}$$

Ohne Zweifel beeinflußt der jeweilige Stand der Legeleistung die Versuchsergebnisse. Dies kam besonders bei Tieren in Batteriehaltung zum Ausdruck (Versuche IIb/63, IV/63, V/63, II/64 und IV/64). Dieser Zusammenhang verwischt sich bei den Versuchen Nr. I/63, IIa/63, III/63, V/63, I/64 und III/64, die in Bodenhaltung durchgeführt wurden, vollständig. Wir führen das u. a. darauf zurück, daß eine individuelle Zuordnung der Eidotterfarbstoffwerte auf die Einzelhenne nicht möglich war. Es ist weiter anzunehmen, daß sich bei der äußerst geringen Durchschnittsleistung, wie sie z. B. im Versuch I/64 beobachtet wurde, eine größere Zahl von Hennen wahrscheinlich überhaupt in Legeruhe befand, während die wenigen Eier in diesem Versuch im Zweifelsfall von Hennen mit individuell hoher Legeleistung stammten. Wie bereits diskutiert, versagt der Richtwert von 160 g Mischfutter/Ei bei Hennen mit schlechter Legeleistung. Zudem gibt die Ausnutzungsrates nur Aufschluß darüber, ob und in welcher Menge die Xanthophylle einer bestimmten Pflanze von der Henne zur Eidotterpigmentierung verwertet werden. Sie sagt aber nichts über die Farbintensität der Dotter selbst aus. Deshalb wurden die Versuche noch in anderer Weise ausgewertet. Es wurde der Xanthophyllgehalt/g Dotter in Beziehung gesetzt zum Xanthophyllgehalt/g Futter und dieses Verhältnis als Farbindex (FI) bezeichnet.

$$2. \text{ FI} = \frac{\text{Xanthophyllgehalt/g Frischdotter} - \text{Blindwert}}{\text{Xanthophyllgehalt/g Futter}}$$

b) Zu den Ergebnissen

In den vorliegenden Pigmentausrutzungsversuchen konnte folgendes festgestellt werden:

1. Zwischen dem Xanthophyllgehalt des Futters und dem Xanthophyllgehalt des Eidotters besteht eine nahezu lineare Abhängigkeit. Eine Verdoppe-

lung des Pigmentgehaltes in der Futtermischung bedeutet im allgemeinen auch eine Verdoppelung des Pigmentgehaltes im Eidotter. Diese direkte Proportionalität wurde bis zu einem Futterxanthophyllgehalt von 20 ppm nachgewiesen.

2. Die Ausnutzungsraten, die bei den verschiedenen Grünmehlen bestimmt wurden, differieren zum Teil erheblich. Im Versuch I/63 wurden das Raps-, Hafer- und Klee-grasgrünmehl durchschnittlich zu 12,5% bei einem angenommenen Futterverzehr von 160 g/Ei ausgenutzt. Von diesem Ergebnis weicht die Ausnutzungsrate der Luzerne mit durchschnittlich 18,9% erheblich ab. Bei diesem Luzerne-Grünmehl (Xanthophyllgehalt 240 ppm, Rohfaser 21,90%, Rohprotein 18,79%) handelt es sich um ein amerikanisches, pelletiertes Produkt, das für den Versuch wieder vermahlen wurde. Der Verdacht, daß es im Gegensatz zu den anderen Grünmehlen mit einem Antioxydanzusatz stabilisiert war, konnte nicht bestätigt werden. Wurde das amerikanische Luzernegrünmehl deutlich besser als alle anderen Grünmehle des Versuchs I/63 ausgenutzt, so zeichnet sich das deutsche Luzernegrünmehl (Xanthophyllgehalt 435 ppm, Rohfaser 22,18%, Rohprotein 21,98%), das im Versuch II/63 verwendet wurde, durch eine relativ niedrige Ausnutzungsrate aus. Bei den zwei untersuchten Luzernegrünmehlproben stand die unterschiedliche Ausnutzungsrate nicht im Zusammenhang mit dem in beiden Proben chemisch ermittelten Rohfaser- und Rohproteingehalt.

(Daß die durchschnittliche Ausnutzungsrate des Versuches II/63 um fast 1/3 niedriger liegt als die des Versuches I/63, soll hier noch unberücksichtigt bleiben. Vorerst sollen nur die Ergebnisse der verschiedenen Grünmehle innerhalb der einzelnen Versuche diskutiert werden.)

Die beiden Grünrapsmehle aus Versuch I/63 bzw. III/63 wurden jeweils relativ gut ausgenutzt. Eine derartige Übereinstimmung war jedoch nicht bei den beiden Klee-gras-mehlen zu finden. Wird das Klee-gras-mehl 1 im Versuch I/63 mit dem Grünrapsmehl zusammen am besten ausgenutzt, wenn man von der Luzerne absieht, so fällt das Klee-gras-mehl 2 deutlich gegen das Grünrapsmehl 2 ab. Das Grünhafermehl war im Versuch I/63 von allen verwendeten Grünmehlen am schlechtesten zur Dotterpigmentierung verwertbar.

Ein gutes Ergebnis zeigte in Versuch II/63 das Landsberger Gemenge. Das Rübsengrünmehl wurde in den Versuchen II/63, III/63, V/63 und I/64 gut ausgenutzt. Seine Ausnutzungsrate war im Vergleich zu Klee gras, Luzerne und Gras-Luzerne stets um $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{3}$ höher.

3. Eine Abhängigkeit der Ausnutzungsrate vom Xanthophyllgehalt des Grünmehles besteht nicht.
4. Die Xanthophylle des Ahornblattmehles (*Acer platanoides*) wurden nur etwa halb so gut wie die der anderen Grünmehle zur Dotterpigmentierung verwertet.
5. Wurden den Versuchstieren Blütenblätter der mexikanischen Ringelblume (*Tagetes erecta*) als Farbstoffträger im Futter angeboten, so konnten bei den Xanthophyll-Analysen der Eidotter nahezu ebensogute Ergebnisse festgestellt werden wie bei der Verfütterung von Rübsengrünmehl. Da *Tagetes erecta* das 10- bis 15fache an Xanthophyllen enthält wie die üblichen Futterpflanzen, wäre sie gut in der Lage, das Xanthophyllangebot für Legehennenalleinfutter zu vergrößern.
6. Eine Zulage zum Versuchsfutter von 57,4 ppm "Gelbpigment" aus Anatto-Extrakt (gewonnen aus dem Fruchtfleisch des Orleanbaumes, *Bixa orellana*), dessen gelbes Mischpigment hauptsächlich aus Bixin besteht, blieb fast ohne Wirkung auf den Dotterxanthophyllgehalt. WILLIAMS und Mitarbeiter (20) erzielten dagegen mit nur 19,0 ppm Bixin im Futter eine sehr intensive Dotterpigmentierung. Um diesem Widerspruch nachzugehen, wurde in Versuch II/64 ebenfalls reines Bixin verfüttert. Das Bixin ging selbst bei der hohen Dosierung von 280 ppm nicht in den Dotter über. Der minimale Xanthophyllzuwachs bei der Verfütterung des Anatto-Extraktes dürfte deshalb auf Anwesenheit geringer Mengen anderer, dotterfreundlicher Xanthophylle zurückzuführen sein. Wir können für diese auffallenden Unterschiede keine einleuchtende Erklärung geben.
7. Die Xanthophylle des Gelbmais wurden bei einem angenommenen Futterverzehr von 160 g/Ei mit 18,8% überdurchschnittlich gut ausgenutzt. In der Literatur ist eine gute Verwertung von Gelbmais zur Dotterpigmentierung beschrieben (10, 11). Die hohe Ausnutzung dürf-

te durch den starken Anteil von Zeaxanthin am Gesamtfarbstoff des Mais bedingt sein.

In Versuch III/64 (Mais) wurden erstmalig Junghennen verwendet. Dabei zeigte sich, daß die Ausnutzungsrate nicht vom Dottergewicht abhängig ist. Da die Junghennendotter jedoch um ca. 30% leichter als Althennendotter sind, müssen sie bei gleichem Farbstoffgehalt/Gesamtdotter wesentlich mehr Xanthophyll in 1 g Dotter enthalten, also intensiver gefärbt sein. Da für den Mais keine Vergleichswerte von Althennen zur Verfügung stehen, läßt sich diese Erscheinung erst durch Versuch IV/64, in dem das wiederholt verwendete Rübsengrünmehl nochmals verfüttert wurde, verdeutlichen.

In den Versuchen I/64 (Althennen) und IV/64 (Junghennen) war die Ausnutzungsrate/Gesamtdotter für die Xanthophylle des Rübsengrünmehles bei einem angenommenen Futterverzehr von 160 g/Ei mit 14,8 bzw. 14,6% nahezu gleich hoch. Da aber im Versuch I/64 das durchschnittliche Dottergewicht bei 21,8 g gegenüber 14,6 g in Versuch IV/64 lag, mußte sich die gleiche Xanthophyllmenge auf weniger Dottermasse konzentrieren. Das konnte tatsächlich an der Höhe des Farbindex erkannt werden.

Beim Vergleich der Versuche untereinander weichen die durchschnittlichen Ausnutzungsraten und bei vergleichbarem Dottergewicht damit auch die Farbindices z. T. erheblich voneinander ab. Werden die während der Versuche herrschenden Wetterbedingungen zum Vergleich herangezogen, so fällt die Abhängigkeit der Ausnutzungsraten von den Temperaturen auf. Bei steigenden Temperaturen sinken die Ausnutzungsraten. Von einigen Autoren (5, 6) wurde diese Proportionalität auf eine geringere Futteraufnahme bei höheren Temperaturen zurückgeführt. In Versuch IV/64 konnte gezeigt werden, daß in einem geheizten Stall (23 - 27°C) die Futteraufnahme um ca. 10% niedriger lag als in einem Stall mit 9 - 13°C Temperatur. Der hierauf zurückzuführende Unterschied in der Ausnutzungsraten der Xanthophylle bei einem angenommenen Futterverzehr von jeweils 160 g/Ei ist im t-Test für $p = 0,1$ schwach gesichert. Werden die Ausnutzungsraten für den tatsächlichen Futterverzehr/Ei berechnet, fällt dieser Unterschied fort (siehe Tabelle 10).

ZUSAMMENFASSUNG

Für eine Reihe von Grünmehlen, Gelbmais, Anatto-Extrakt und reines Bixin wurde in Legehennenversuchen die prozentuale Ausnutzungsrate der Xanthophylle bei einem angenommenen Futterverzehr von 160 g/Ei (Gruppenhaltung der Versuchstiere) und unter Berücksichtigung des tatsächlichen Futterverzehrs/Ei (Batterieeinzelhaltung der Versuchstiere) bestimmt.

Die Ausnutzungsrate ist abhängig von:

1. Der Temperatur.

Bei steigender Temperatur wird infolge des herabgesetzten Energiebedarfs der Futterverzehr und damit die Xanthophyllaufnahme der Legehenne vermindert. Ebenso vermindert sich der Pigmentgehalt im Eidotter.

2. Der Art der Farbstoffträger.

Unterschiede bestehen aber auch zwischen gleichartigen Grünmehlen. Zwei Luzernegrünmehle wurden ebenso wie zwei Klee grasgrünmehle unterschiedlich ausgenutzt. Die besten Ergebnisse wurden mit Gelbmais, dann weiter in der Reihenfolge ihrer Verwertbarkeit mit Luzerne I, Landsberger Gemenge, Rübsen, Tagetes erecta, Raps II, Klee gras I, Raps I, Klee gras II, Luzerne II, Gras-Luzerne, Grünhafer und Ahornblättern erzielt. Anatto-Extrakt und Bixin zeigten keine Tendenz, in den Eidotter einzuwandern.

3. Der Legeleistung.

Diese Abhängigkeit tritt in der Regel nur bei der Betrachtung von Einzelhennenergebnissen in Erscheinung.

Die Höhe der errechneten Ausnutzungsrate ist bis zu einem Xanthophyllgehalt von 20 ppm im Legehennenalleinfutter konzentrationsunabhängig.

Bei konstantem Xanthophyllgehalt werden Junghennendotter intensiver als Althenneneidotter (pro g Gewicht gerechnet) pigmentiert. Bei gleicher Ausnutzungsrate des im Futter angebotenen Pigments zeigt der leichtere Junghennendotter eine größere Farbtiefe als der wesentlich schwerere Dotter der Althenne.

Diese Verhältnisse kommen besonders gut bei der Berechnung des

Farbindex
$$\frac{(\text{Xanthophyllgehalt/g Dotter} - \text{Blindwert})}{(\text{Xanthophyllgehalt/g Futter})}$$
 zum Ausdruck.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Anjaneylu, Y. V.,
Kurnick, A. A.,
Reid, B. L. Egg yolk pigmentation - effect of
Ethoxyquin,
Poult. Sci., 40, 1372 (1961)
2. Ashton, H. E.,
Fletcher, D. A. Development and use of color standards
for egg yolk,
Poult. Sci., 41, 1903 (1962)
3. Bauernfeind, J. C.,
Marusich, W. L. Carotinoids as feed additives for improved
egg yolk pigmentation,
Proceedings of the 1959 Poultry Sci.
Convention (Sydney 1959) S. 55
ref. Arch. f. Geflügelk., 24, 478 (1960)
4. Bickoff, E. M.,
Livingston, A. L.,
Bailey, A. F.,
Thompson, C. R. Alfalfa carotenoids - xanthophylls in
fresh and dehydrated alfalfa,
J. Agric. Food Chem., 2, 563 (1954)
5. Fritz, J. C. Feeding for egg yolk color,
Feedstuffs, 34/19, 44 (1962)
6. Kingan, J. R.,
Sullivan, T. W. Influence of high levels of dehydrated
alfalfa meal on egg yolk color,
produktion, fertility and hatchability,
Poult. Sci., 42, 1280 (1963)
7. Kupsch, W. Die Veränderung und Wertbestimmung
der Eidotterfarbe,
Arch. f. Geflügelk., 8, 97 (1934)
8. Lang, H. Ein Beitrag zur Frage der Eidotterfärbung,
Arch. f. Geflügelk., 10, 23 (1936)
9. Machey, E.,
Mountney, G. J.,
Naber, E. C. Yolk color resulting from different levels
of paprika extract in the ration,
Poult. Sci., 42, 32 (1963)

10. Marusich, W.,
De Ritter, E.,
Bauernfeind, J.C. Evaluation of Carotenoid pigments for
coloring, egg yolks,
Poult. Sci., 39, 1338 (1960)

11. Morehouse, A. L. Dried algae meal as a source of
Xanthophyll for egg yolk pigmentation,
Grain Processing Corporation,
Muscatine, Iowa;
Poult. Sci., 40, 1432 (1961)

12. Ostwald, W. Die Farbfibel, S. 16 ff.
Unesma Verlag Leipzig, 1920

13. Ratcliff, R. G.
Day, E. J.,
Hill, J. E. Comparison of two antioxydants and two
sources Xanthophyll in a pigmentation
study with broilers,
Poult. Sci., 40, 716 (1961)

14. Rauch, W. Über die Beeinflussung der Dotterfarbe
durch carotinoidhaltiges Legehennenfutter,
Arch. f. Geflügelk., 23, 319 (1959)

15. Rauch, W. 15. Tagungsbericht der Gesellschaft für
Ernährungsphysiologie der Haustiere
Gießen 1962
Ztschr. für Tierphys., Tierern. und
Futtermittelkunde, 17, 302 (1962)

16. Steinegger, P.,
Zanetti, G. Versuche zur Ermittlung der Einflüsse ver-
schiedener Carotinoidzusätze zum Leg-
hennenfutter auf die Dotterfarbe,
Arch. f. Geflügelk., 21, 236 (1957)

17. Steinegger, P.
Zanetti, G. Versuche zur Ermittlung der Einflüsse ver-
schiedener Carotinoidzusätze zum Lege-
hennenfutter auf die Dotterfarbe,
Arch. f. Geflügelk., 23, 166 (1959)

Am Ende meiner Arbeit danke ich Herrn Professor Dr. Dr. J. BRÜGGEMANN für die freundliche Überlassung des Themas und die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Ebenso gilt mein besonderer Dank Herrn Professor Dr. Dr. J. TIEWS für die jederzeit gewährte Unterstützung und das Interesse am Fortgang der Arbeit.

LEBENS LAUF

Am 27. Oktober 1936 wurde ich als Sohn des Kaufmanns Rudolf Berning und dessen Ehefrau Marlene, geb. Jung, in Schwelm/Westfalen geboren. Nach 5 Jahren Volksschule besuchte ich das Märkische Gymnasium in Schwelm, an dem ich Ostern 1956 die Reifeprüfung bestand. Mit dem Sommer-Semester 1956 begann ich an der Tierärztlichen Fakultät der Justus-Liebig-Universität Gießen das Studium der Veterinärmedizin. Zu Beginn des Sommer-Semesters 1959 setzte ich das Studium an der Ludwig-Maximilians-Universität München fort und schloß es im Sommer 1961 mit dem Staatsexamen ab.

Meine Praktikantenzeit leistete ich im Winter 1961/62 im Münsterland ab und erhielt am 15. April 1962 die Approbation als Tierarzt. Vorübergehend war ich Beschautierarzt am Schlacht- und Viehhof der Stadt München.

Danach arbeitete ich an meiner Dissertation.

Zur Zeit bin ich Assistenztierarzt in Nahe/Holstein.

